

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

До захисту допущено:

В.о. завідувача кафедри

_____ Владислав ШЛИКОВ

« ____ » _____ 2020 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою _____ Клінічна інженерія
(назва)

спеціальності _____ 163 «Біомедична інженерія»
(код та назва)

на тему: Метод непрямого визначення концентрації глюкози на основі
поляриметрії

Виконала: студентка IV курсу, групи БМ-61
(шифр групи)

Федорова Руслана Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник ст. викл. каф. БМІ, Білошицька Оксана Костянтинівна

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Консультант Охорона праці доц. каф. ОППЦБ, к.т.н. Демчук Гліб

(назва розділу)

Вікторович

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Нормоконтроль ст. викл. каф. БМІ, Юр'єва Катерина Олександрівна

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Рецензент доц. каф. ТМБ, к.б.н., с.н.с., Беспалова Олена Ярославівна

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студентка _____

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

| | |
|------------------------------|---------------------------------|
| Факультет | <u>Біомедичної інженерії</u> |
| Кафедра | <u>Біомедичної інженерії</u> |
| Рівень вищої освіти | <u>Перший (бакалаврський)</u> |
| Спеціальність | <u>163 Біомедична інженерія</u> |
| Освітньо-професійна програма | <u>Клінічна інженерія</u> |

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

(підпис) Владислав ШЛИКОВ
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«____» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Федоровій Руслані Миколаївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Метод непрямого визначення концентрації глюкози _____
на основі поляриметрії» _____

керівник роботи Білошицька Оксана Костянтинівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. №1191-с

2. Термін подання студентом роботи «8» червня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи Оптимальна математична функція, яка
використовується для прогнозування зміни рівня глюкози у хворих на
цукровий діабет.

4. Зміст роботи Провести дослідження для визначення питомого обертання
глюкози залежно від концентрації розчину глюкози. Створити базу даних під
час проведення дослідів та проаналізувати отримані дані. Підібрати
оптимальну математичну функцію, яка буде використовуватися для
прогнозування зміни рівня глюкози в крові у хворих на цукровий діабет.
Провести оцінку точності побудованої прогностичної моделі.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) Міститься 16 ілюстрацій та презентацію у форматі MS Power Point.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---------------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорони праці | Демчук Г.В., доц., к.т.н. | | |

7. Дата видачі завдання 13 квітня 2020 р.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломної роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|--|----------|
| 1 | Отримання завдання на ДР | 13 квітня 2020 р. | |
| 2 | Проведення інструктажу з охорони праці | 15 квітня 2020 р. | |
| 3 | Аналіз літературних джерел | 13-19 квітня 2020 р. | |
| 4 | Підготовка та проведення дослідів | 20 квітня 2020 р.- 3 травня 2020 р. | |
| 5 | Створення бази даних та її аналіз | 4-18 травня 2020 р. | |
| 6 | Перевірка точності отриманих результатів | 19-28 травня 2020 р. | |
| 7 | Підготовка розділу ДР «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» | 29 травня 2020 р. | |
| 8 | Проходження нормоконтролю по оформленню ДР | 5-7 червня 2020 р. | |
| 9 | Подання ДР рецензенту. Отримання рецензії | 5-7 червня 2020 р. | |
| 10 | Подання в електронному вигляді ДР та анотації до неї на сайт кафедри | 8 червня 2020 р. | |
| 11 | Подання пакету документів по ДР до захисту в ЕК | 8 червня 2020 р. | |
| 12 | Захист ДР в ЕК | 15-19 червня 2020 р. | |

Студентка

Руслана ФЕДОРОВА

Керівник

Оксана БІЛОШИЦЬКА

АНОТАЦІЯ

Структура та обсяг роботи: становить 53 сторінки, міститься 16 ілюстрацій, 25 таблиць, 1 додаток. Загалом опрацьовано 22 джерела.

Актуальність. Найрозповсюдженішими методами вимірювання вмісту глюкози в крові у хворих на цукровий діабет є стандартні інвазивні методи, що спричиняють дискомфорт та небезпеку зараження у місці проколу. Тому розробка методів і засобів неінвазивного і безперервного моніторингу концентрації глюкози в крові людини є актуальною і однією з першорядних завдань сучасної біомедичної діагностики. За допомогою методу поляриметрії можна знайти залежність питомого обертання глюкози від концентрації розчину глюкози для потрібної довжини хвилі. Цю залежність можна описати степеневим рядом, який дозволить розраховувати концентрацію глюкози в розчині поляриметричним методом, тобто неінвазивно.

Метою дипломної роботи є підбір та оцінка точності оптимальної математичної функції для опису залежності питомого обертання від концентрації розчину глюкози.

Завдання:

1. Провести дослідження для визначення питомого обертання глюкози залежно від концентрації розчину глюкози.
2. Створити базу даних під час проведення дослідів та проаналізувати отримані дані.
3. Підібрати оптимальну математичну функцію, яка буде використовуватися для прогнозування зміни рівня глюкози в крові у хворих на цукровий діабет.
4. Провести оцінку точності побудованої прогностичної моделі.

Ключові слова: вміст глюкози, поляриметрія, концентрація, кут поляризації, питома обертаєність, нелінійні регресійні моделі.

ANNOTATION

The volume of the report is 53 pages, it contains 16 illustrations, 25 tables, 1 applications. A total of 22 sources were processed.

Relevance. The most common methods of blood glucose content measuring in diabetic patients are standard invasive methods that cause discomfort and risk of infection at the puncture site. Therefore, the development of methods and means of non-invasive and continuous monitoring of human blood glucose content is an urgent and one of the priority tasks of modern biomedical diagnostics. Using the method of polarimetry, we can find the specific rotation of glucose for the right wavelength.

The obtained formula for describing the dependence of the specific rotation on the concentration allows to calculate the concentration of glucose in solution by the polarimetric method, that is non-invasively.

Objective: the selection of the optimal function to describe the dependence of the specific rotation on the concentration.

Task:

1. To carry out the experiment to determine the specific rotation of glucose depending on the concentration of glucose solution.
2. To create a database during the experiment and to analyze the obtained data.
3. To select the optimal mathematical function that will be used to predict changes in blood glucose content in diabetic patients.
4. To make an accuracy assessment of prognostic model.

Key words: glucose content, polarimetry, concentration, angle of polarization, specific rotation, non-linear regression models.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 8 |
| РОЗДІЛ 1 ПОЛЯРИМЕТРІЯ ЯК НЕІНВАЗИВНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГЛЮКОЗИ | 9 |
| 1.1 Порівняльний аналіз неінвазивних методів визначення концентрації глюкози..... | 9 |
| 1.2 Оптична активність органічних речовин..... | 10 |
| 1.2.1 Питоме обертання розчинів | 11 |
| 1.2.2 Концентрація розчинів | 14 |
| 1.3 Глюкоза як оптично-активна речовина..... | 16 |
| 1.4 Поляриметрія як метод дослідження концентрації | 17 |
| Висновки до розділу 1 | 20 |
| РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ОБЧИСЛЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГЛЮКОЗИ | 21 |
| 2.1 Теоретичний розрахунок концентрації розчинів..... | 21 |
| 2.2 Використання методу оптичної поляриметрії | 24 |
| 2.3 Створення бази даних..... | 28 |
| Висновок до розділу 2 | 30 |
| РОЗДІЛ 3 ПОБУДОВА ПРОГНОСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ГЛЮКОЗИ..... | 31 |
| 3.1 Оброблення отриманих результатів за допомогою комп'ютерної програми для статистичної обробки даних IBM SPSS Statistics | 31 |
| 3.1.1 Побудова математичних моделей з використанням лінійної регресії..... | 31 |
| 3.1.2 Побудова математичних моделей з використанням нелінійної регресії..... | 36 |
| 3.2 Порівняння отриманих результатів з теоретичними дослідженнями ... | 40 |

| | | | | | | | |
|-----------|------|------------|--------|------|--|---|--------|
| | | | | | БМ61.14.2505.1191 | | |
| Вим | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | |
| Розробив | | Федорова | | | Метод непрямого визначення концентрації глюкози на основі поляриметрії | Лім. | Лист |
| Перевірів | | Білошицька | | | | | Листів |
| Реценз. | | Беспалова | | | | | 6 |
| Н. Контр. | | Юр'єва | | | | | 53 |
| Затвердив | | Шликов | | | | КПІ ім. Ігоря Сікорського ФБМІ БМ-61 | |

| | |
|--|----|
| 3.3 Оцінка точності побудованої прогностичної моделі | 41 |
| Висновок до розділу 3 | 42 |
| РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ | 43 |
| 4.1 Загальна характеристика приміщення | 43 |
| 4.2 Оцінка небезпечних і шкідливих виробничих факторів та розробка заходів по покращенню умов праці..... | 44 |
| 4.3 Хімічна безпека | 45 |
| 4.4 Електробезпека..... | 46 |
| 4.5 Пожежна безпека..... | 47 |
| Висновки до розділу 4 | 49 |
| ВИСНОВКИ..... | 50 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ..... | 51 |
| ДОДАТОК А ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ..... | 54 |

ВСТУП

Актуальність. Найрозповсюдженішими методами вимірювання вмісту глюкози в крові у хворих на цукровий діабет є стандартні інвазивні методи, що спричиняють дискомфорт та небезпеку зараження у місці проколу. Тому розробка методів і засобів неінвазивного і безперервного (або багаторазового) моніторингу концентрації глюкози в крові людини є актуальною і однією з першорядних завдань сучасної біомедичної діагностики. За допомогою методу поляриметрії можна знайти питоме обертання глюкози для потрібної довжини хвилі. Оскільки оптична активність даного моносахариду зумовлена його молекулярною будовою, то питоме обертання площини поляризації залежить від концентрації розчину. Цю залежність можна описати ступеневим рядом.

Отримана формула опису залежності питомого обертання від концентрації дозволяє розраховувати концентрацію глюкози в розчині (в подальшому в крові людини) поляриметричним методом, тобто неінвазивно.

Метою дипломної роботи є підбір та оцінка точності оптимальної математичної функції для опису залежності питомого обертання від концентрації розчину глюкози.

Задачі ДР:

1. Провести дослідження для визначення питомого обертання глюкози в крові залежно від концентрації розчину глюкози.
2. Створити базу даних під час проведення досліджень та проаналізувати отримані дані.
3. Підібрати оптимальну математичну функцію, яка буде використовуватися для прогнозування зміну рівня глюкози в крові у хворих на цукровий діабет.
4. Перевірити точність побудованої функції.

РОЗДІЛ 1

ПОЛЯРИМЕТРІЯ ЯК НЕІНВАЗИВНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГЛЮКОЗИ

1.1 Порівняльний аналіз неінвазивних методів визначення концентрації глюкози

В сучасному світі серед усіх захворювань цукровий діабет займає досить високе місце. Своєчасне виявлення переддіабетичного стану людини і моніторинг динаміки захворювання визначають необхідність у відповідній діагностичній апаратурі. На даний момент існують лише інвазивні та малоінвазивні методи визначення вмісту глюкози в крові, проте зараз стрімко зростає роль неінвазивної діагностики [1]. Це пояснюється її наступними перевагами:

- немає місця проколу, що відповідно виключає можливість зараження хвороботворними бактеріями та вірусами організму людини;
- відсутність постійних дискомфортних та больових відчуттів у хворого;
- можливість неперервного моніторингу та дистанційної передачі даних на пристрій хворого, лікаря чи діагностичного центру, який здійснює контроль за хворими.

Всі неінвазивні методи за видом досліджуваної тканини можна поділити на ті, які аналізують тканинну рідину, рідини ока, піт, кров, дихання, електричний опір шкірного покриву, артеріальний тиск і пульс. При цьому дослідження проводять на таких частинах тіла як мочка вуха, передпліччя, кінчики пальців, очі, кутикула [2]. Деякі з наведених методів базуються на знаходженні кореляції між концентрацією глюкози і іншими фізичними показниками організму людини, але ці методи не набули популярності. Тому далі було розглянуто лише оптичні методи, оскільки

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БМ61.14.2505.1191 | Лист |
| | | | | | | 9 |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

вони найбільш швидко розвиваються і є найперспективнішими. В додатку А наведено порівняльний аналіз основних оптичних методів.

Для даної дипломної роботи було обрано поляриметрию як неінвазивний метод і вирішується такий недолік, як утворення рівняння з двома невідомими при дослідженні глюкози.

1.2 Оптична активність органічних речовин

На даний момент кількість хворих на цукровий діабет стрімко зростає. Відповідно до цього збільшується потреба у створенні найбільш безпечних і гуманних способів для контролю рівня глюкози в крові. Один із таких – неінвазивних метод на основі поляриметрії. Для розуміння даного методу спочатку розглянемо оптичну активність органічних речовин.

Оптична активність – це властивість речовини повертати площину поляризації навколо оптичної осі лінійно поляризованого світла. Вона виникає лише у матеріалах, які мають хіральну будову, тобто молекула з її дзеркальним відображенням не накладаються одна на одну. Також оптична активність може спостерігатись у рідинах, тобто розчинах хіральних молекул, таких як цукри.

В даній дипломній роботі буде визначатись концентрація глюкози в розчині, тому далі буде розглянуто тільки ОА для розчинів.

Основною характеристикою оптичної активності є величина кута повороту площини поляризації. Цей кут залежить від природи досліджуваної речовини, її концентрації в розчині, температури, довжини хвилі лінійно поляризованого світла (променя) та товщини шару розчину, через який проходить даний промінь [3]. Дану залежність визначають по формулі (1.1):

$$\alpha = [\alpha]_{\lambda}^t \cdot l \cdot C, \quad (1.1)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БМ61.14.2505.1191 | Лист |
| | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 10 |

де α – кут обертання площини поляризації, град;

$[\alpha]_{\lambda}^t$ – питоме обертання, град/дм·г/см³;

t – температура, °С;

λ – довжина хвилі, нм;

l – товщина шару розчину, дм;

C – концентрація речовини, г/см³.

Зазвичай визначення кута обертання проводять при температурі (20±0,5) °С, тому під час проведення вимірювань при інших температурах слід вказувати спосіб контролю температури.

Для збільшення точності визначення оптичної активності розчинів потрібно проводити вимірювання не раніше 30 хвилин з моменту їх приготування. Також потрібно звертати на увагу на те, що розчин повинен бути прозорим.

В залежності від досліджуваного розчину поворот площини поляризації буде мати різні значення за величиною і знаком. Якщо площина поляризації повертається за годинниковою стрілкою, то речовину називають правообертальною і перед її значенням питомого обертання ставлять знак (+). Якщо площина поляризації повертається проти годинникової стрілки, то речовина називається лівообертальна і ставлять знак (–). Поворот за або проти годинникової стрілки визначається, якщо дивитись на джерело світла, яке проходить через оптично активну речовину.

1.2.1 Питоме обертання розчинів

Оптична активність розчину характеризується питомим обертанням $[\alpha]_{\lambda}^t$. Це кут повороту α площини поляризації лінійно поляризованого світла на довжині хвилі λ , виражений в градусах, розрахований для товщини шару

досліджуваного розчину 1 дм і концентрації речовини 1 г/мл, виміряний при температурі t . [4] Ця залежність визначається з формули (1.1) і має вигляд:

$$[\alpha]_{\lambda}^t = \frac{\alpha}{l \cdot C} \text{ або } [\alpha]_{\lambda}^t = \frac{\alpha \cdot 100}{l \cdot C_1}, \quad (1.2)$$

де C_1 – концентрація розчину, г речовини на 100 мл розчину.

При визначенні $[\alpha]_{\lambda}^t$ в розчинах оптично активних речовин потрібно враховувати, що отримана речовина залежить від природи розчинника і концентрації оптично активної речовини. Зміна розчинника може призвести не тільки до зміни величини питомого обертання, а і до його знаку. Тому при використанні значень питомого обертання обов'язково треба вказувати розчинник та концентрацію, при якій було проведене вимірювання.

У 1814 році сім темних смуг незалежно відкрив і описав німецький фізик Йозеф фон Фраунгофер. Пізніше він склав каталог, у якому описав 574 лінії. Сильні лінії отримали літерні позначення від А до К, а слабші були позначені рештою літер (рис. 1.1). Жовту D лінію натрію з довжиною хвилі 589,3 нм одну із перших почали використовувати для дослідження оптично активних речовин і їх розчинів, в тому числі і розчину глюкози. Цю лінію як стандарт довжини хвилі для визначення питомого обертання було обрано через важливу особливість цього світла – монохроматичність. Згодом, для дослідження природних сполук використовували зелену лінію ртуті з довжиною хвилі 546,1 нм, ця лінія краще завдяки своїй більшій інтенсивності. Але більшість приладів були пристосовані саме на 589,3 нм і в літературі з'являлось все більше значень питомого обертання саме для цієї довжини хвилі, тому зелена лінія ртуті так і не почала масштабно використовуватись для дослідів.

Якщо досліди були проведені при температурі 20 °С та на D лінії натрію, то питоме обертання позначається $[\alpha]_D^{20}$. Деякі значення питомого обертання за таких умов наведені в таблиці 1.1.

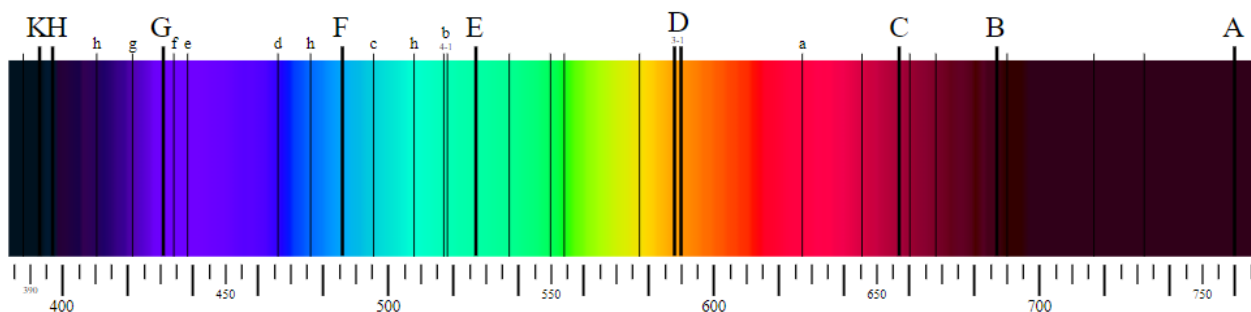


Рисунок 1.1 – Найважливіші Фраунгоферові лінії видимого світла (довжини хвиль у нм)

У цукрових розчинах часто відбувається явище мутаротації. Суть цього явища полягає в тому, що величина питомого обертання в розчині, який тільки приготовлений, в результаті сильно змінюється, досягаючи певного постійного значення. Інколи може бути навіть зміна знаку повороту: лівий поворот переходить в правий. У таблиці 1.1 перше значення питомого обертання відповідає свіжоприготовленому розчину, стрілка вказує на значення після встановлення рівноваги.

Таблиця 1.1 – Питоме обертання деяких розчинів

| № | Речовина | Розчинник | Концентрація, г/100 мл | Питоме обертання |
|---|----------------------------|-----------|------------------------|------------------|
| 1 | Сахароза | Вода | 0-65 | +66,462 |
| 2 | D-Глюкоза | | | |
| | • α – форма | | 4 | +112,2 → +52,7 |
| | • β – форма | | 4 | +18,7 → +52,7 |
| 3 | D-Фруктоза | | 4 | -132,2 → -92,4 |
| 4 | Лактоза | | | |
| | • α – гідрат | | 8 | +85,0 → +52,53 |
| | • β – форма безводна | | 4 | +34,9 → +55,4 |
| 5 | D-Галактоза | | | |
| | • α – форма | | 5 | +150,7 → +80,2 |
| | • β – форма | | 4 | +52,8 → +80,2 |
| 6 | Мальтоза | | 4 | +111,7 → +130,4 |

Залежність питомого обертання від довжини хвилі $[\alpha]_{\lambda}^{20}$ для деяких речовин наведена в таблиці 1.2.

Як видно з таблиці 1.2, зі збільшенням довжини хвилі питоме обертання зменшується.

Таблиця 1.2 – Залежність питомого обертання площини поляризації від довжини хвилі

| Сахароза | | Фруктоза | | Нікотин | |
|----------------|---|----------------|---|----------------|---|
| λ , нм | $[\alpha]_{\lambda}^{20}$, град/дм·г/см ³ | λ , нм | $[\alpha]_{\lambda}^{20}$, град/дм·г/см ³ | λ , нм | $[\alpha]_{\lambda}^{20}$, град/дм·г/см ³ |
| 400 | +149,9 | 447 | – 166 | 486 | –253,5 |
| 450 | +122,2 | 535 | – 107 | 535 | –207,5 |
| 500 | +99,8 | 589 | –90 | 589 | –162 |
| 589 | +66,8 | 656 | –76 | 656 | –126 |

Зі збільшенням температури питоме обертання збільшується. Цю залежність зазвичай виражають степеневим рядом. Наприклад, для суміші еквімолярної кількості D-глюкози і D-фруктози даний ряд має вигляд:

$$[\alpha]_{\lambda}^t = [\alpha]_{\lambda}^{20} - 0,304(t - 20) + 1,68 \cdot 10^{-3}(t - 20)^2, \quad (1.3)$$

де $[\alpha]_{\lambda}^{20}$ – питоме обертання при температурі 20 °С;

t – температура проведення дослідів, відмінна від 20 °С.

Потрібно враховувати, що $[\alpha]_{\lambda}^{20}$ і $[\alpha]_{\lambda}^t$ визначаються для конкретного значення концентрації і на однаковій довжині хвилі.

1.2.2 Концентрація розчинів

Вимірювання величини кута повороту площини поляризації проводять для оцінки чистоти оптично активної речовини або для визначення її концентрації в розчині [5].

Для цього зазвичай використовують формулу, яку отримують з формули 1.1. Вона матиме наступний вигляд (1.4):

$$C = \frac{\alpha}{l \cdot [\alpha]_{\lambda}^t}. \quad (1.4)$$

Але, аналізуючи таблицю 1.2, можна помітити, що для деяких розчинів їх питоме обертання має конкретне значення для певного значення (інтервалу значень) концентрації і навпаки. Це означає, що для D-глюкози чи D-фруктози у формулі (1.4) не можна використовувати концентрацію, відмінну від значення 4 г/100 мл одночасно зі значенням питомого обертання, зазначеного в таблиці. Для сахарози це виконується аналогічно, відмінністю є те, що даний дисахарид має стале питоме обертання для деякого діапазону концентрацій.

Це пояснюється тим, що оптична активність даних сахаридів зумовлена їх молекулярною будовою, тому питоме обертання площини поляризації залежить від концентрації розчину. [6] Так само, як і залежність від температури, залежність питомого обертання від концентрації можна описати ступеневим рядом. Наприклад для сахарози:

$$[\alpha]_D^{20} = 66,56 + 8 \cdot 10^{-4} \cdot C - 2 \cdot 10^{-4} \cdot C^2. \quad (1.5)$$

В загальному вигляді цю формулу можна записати так (1.6):

$$[\alpha]_{\lambda}^t = \gamma + \gamma_1 \cdot C^n + \gamma_2 \cdot C^{n+1} + \dots, \quad (1.6)$$

де $\gamma, \gamma_1, \gamma_2$ – деякі коефіцієнти;

n – ціле число.

Для деяких речовин, наприклад розчину сахарози, коефіцієнт γ є дуже близьким зі значенням питомого обертання виміряного в стандартних умовах (табл. 1.1).

Аномери – пара циклічної форми моносахариду, які відрізняються лише положенням одного атому карбону, який в нециклічній формі був карбонільним і не був хіральним центром.

Існує два аномери D-глюкози: α -D-глюкоза та β -D-глюкоза. Перетворення між цими двома аномерами спостерігаються при визначенні питомого обертання розчину глюкози. Кожен з аномерів має специфічний кут повороту, а через деякий час через мутацію досягається рівновага (значення наведені у таблиці 1.1). Для прискорення утворення стану рівноваги в розчин глюкози додають кислоту або основу. [9]

1.4 Поляриметрія як метод дослідження концентрації

Поляриметрія – це метод якісного і кількісного дослідження, який базується на вимірюванні кута обертання площини поляризації лінійно поляризованого світла. [10]

Даний метод використовується для аналізу хіральних речовин та визначення концентрацій водних розчинів цукру, глюкози та деяких інших оптично активних речовин, наприклад крохмалю, етерних олій, амінокислот (загалом цих речовин декілька тисяч).

Розчини оптично активних речовин проявляють властивість подвійного променезаломлення (бірефракція). Це оптична властивість матеріалу, яка полягає в тому, що речовина має два показники заломлення і здатна розділити промінь на два промені: перший (звичайний) підчиняється всім законам оптики, другий (надзвичайний) залежить від поляризації та напрямку поширення світла. Ці промені мають однакову частоту, але різну швидкість поширення, довжину хвилі і поляризацію. Таким чином, при проходженні через розчин глюкози виникає обертання поляризації плоско поляризованого світла.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БМ61.14.2505.1191 | Лист |
| | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 17 |

Призма Ніколя – оптичний пристрій, який використовується для отримання і аналізу площини поляризованого світла. Виготовлений з ромбоподібного кристалу кальциту, який має властивість бірефракції, який був розрізаний під кутом 68° щодо осі кристалу, потім знову розрізаний по діагоналі, а потім з'єднаний за допомогою прозорого клею – канадського бальзаму. Дана призма зроблена таким чином, щоб усувати звичайний промінь повним внутрішнім відбиттям, залишаючи лише надзвичайний поляризований промінь (рис. 1.3).

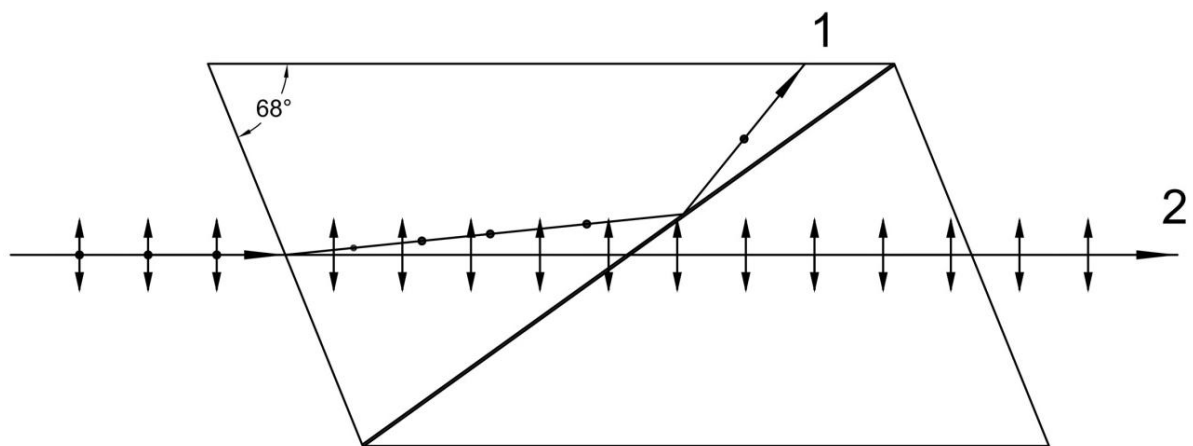


Рисунок 1.3 – Хід променів у призмі Ніколя: 1 – звичайний промінь, 2 – надзвичайний

Звичайне джерело світла (лампочка, світлодіод, сонце) коливається у всіх площинах, які перпендикулярні напрямку поширення, і воно неполяризоване або напівполяризоване. Коли це світло проходить через призму Ніколя, коливання у всіх напрямках, крім напрямку осі призми, поглинаються. На виході з призми світло стає поляризованим у площині, або плоскополяризованим, оскільки його коливання поширюються в одному напрямку.

Якщо дві призми Ніколя розмістити паралельно одна одній відносно їх поляризаційних площин, то світлові промені, що виходять з першої призми, увійдуть в другу призму (рис. 1.4, а). Таким чином не відбувається втрата світла.

Проте, якщо дані призми розмістити перпендикулярно, то світловий промінь, що виходить з першої призми, не може пройти крізь другу призму і світло за нею не спостерігається (рис. 1.4, б). Це пояснюється тим, що промені з першої призми мають площину коливань, перпендикулярну до площини пропускання променів другої призми. Таке положення називається «на темноту». При цьому перша призма зазвичай називається поляризатором, а друга – аналізатором. [11]

Якщо розташувати між поляризатором і аналізатором, які стоять «на темноту», кювету з розчином оптично-активної речовини (рис. 1.4, в), то на аналізаторі можна частково спостерігати світло [12]. Повернувши його на певну кількість градусів за або проти годинникової стрілки світло знову перестане проходити.

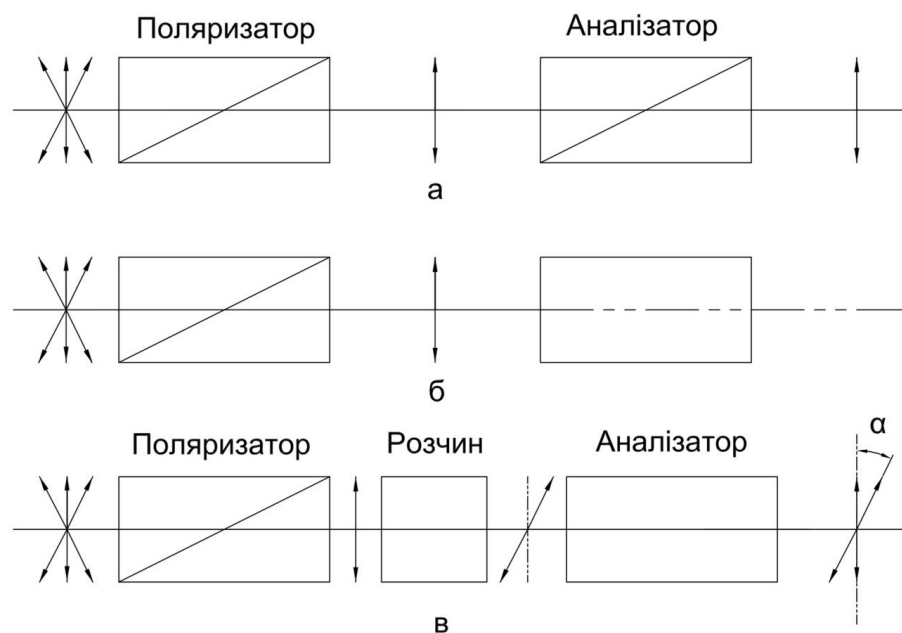


Рисунок 1.4 – Взаємне розташування призм Ніколя: а – паралельно, б – перпендикулярно, в – перпендикулярно з розчином між ними

Кут повороту аналізатора і є кутом повороту α площини поляризації, за допомогою якого можна визначити питоме обертання та знайти концентрацію розчину.

Описані вище процеси відбуваються у спеціальному приладі – поляризаторі. Досліджуючи концентрацію розчину спочатку потрібно

провести виміри на кюветі з розчинником (у нашому випадку на воді). Це робиться для того, щоб виключити вплив кювети з водою на кут повороту поляризації і збільшити точність вимірювання. Це вимірювання називається визначенням нуля поляризатора. Після цього можна безпосередньо переходити до визначення концентрації розчину досліджуваної речовини – глюкози.

Висновки до розділу 1

У даному розділі проведено порівняльний аналіз сучасних методів визначення рівня глюкози в крові та обрано один із найперспективніших – оптичний метод, а саме поляриметрію. Розглянуто одну з основних властивостей органічних речовин – оптичну активність. Проаналізовано залежність цієї властивості від різних показників та описано залежність основних параметрів для визначення концентрації.

Досліджено глюкозу як оптично-активну речовину і пояснено яким чином можна використовувати метод поляриметрії для визначення концентрації глюкози в розчині.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ОБЧИСЛЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГЛЮКОЗИ

2.1 Теоретичний розрахунок концентрації розчинів

Розчин – цілком однорідна суміш з двох або більше речовин, в якій молекули (чи іони) рівномірно розподілені між молекулами (іонами) іншої речовини. Компонентами розчину є розчинник і розчинена речовина. Розчинником зазвичай називають той компонент розчину, агрегатний стан якого не змінюється при утворенні розчину, або вміст якого переважає над вмістом інших компонентів. [13]

Однією з найважливіших характеристик розчинів є їх склад, який може бути виражений різними величинами.

Якісними характеристиками розчину є:

- розведений розчин – кількість розчиненої речовини відносно невелика порівняно з кількістю розчинника;
- концентрований розчин – кількість розчиненої речовини відносно велика.

Кількісними характеристиками будь-якого розчину є:

- безрозмірні відносні величини – частки (масова, об'ємна, молярна);
- розмірні величини – концентрації (масова, молярна, еквівалентна молярна).

Вони показують відносний чи реальний вміст розчиненої речовини в певній масі (об'ємі) розчину або розчинника. З безрозмірних величин розглянуто масову частку, з розмірних – масову і молярну концентрацію.

Масова частка – відношення маси розчиненої речовини до маси всього розчину (2.1). Зазвичай виражається у відсотках або у частках від одиниці.

$$W = \frac{m_{\text{pp}}}{m_{\text{рн}}} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де W – масова частка;

m_{pp} – маса розчиненої речовини;

$m_{\text{рн}}$ – маса розчину.

В медицині при лікуванні певних захворювань використовують 5%-й розчин глюкози. Це означає, що у 100 г розчину міститься 5% глюкози і 95% води або в кожних 100 г розчину міститься 5 г глюкози.

Масова концентрація – відношення маси розчиненої речовини до об'єму розчину (2.2). Виражається в г/мл, г/л, кг/м³ і т.д.

$$\rho = \frac{m_{\text{pp}}}{V}, \quad (2.2)$$

де ρ – масова концентрація;

V – об'єм розчину.

До введення системи СІ масову концентрацію, виражену в г/мл, називали титром розчину.

Для розчинів, які складаються з двох компонентів, числове значення масової концентрації і густини розчину збігаються [14].

Молярна концентрація – відношення кількості моль розчиненої речовини до об'єму розчину (2.3):

$$C = \frac{\nu_{\text{pp}}}{V} = \frac{m_{\text{pp}}}{M \cdot V}, \quad (2.3)$$

де ν_{pp} – кількість моль розчиненої речовини;

M – молярна маса розчиненої речовини.

Існують загальні назви розчинів для різної молярної концентрації:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БМ61.14.2505.1191 | Лист |
| | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 22 |

- 0.003 моль/л – 0.003 М – тримілімолярний;
- 0.02 моль/л – 0.02 М – двосантімолярний;
- 0.1 моль/л – 0.1 М – децимолярний;
- 1 моль/л – 1 М – одномолярний;
- 2 моль/л – 2 М – двомолярний.

Оскільки в даній дипломній роботі буде визначатися залежність питомого обертання від концентрації глюкози, то для розрахунків концентрації доцільно використовувати саме молярну концентрацію. Це пояснюється тим, що рівень глюкози в крові людини має значення, яке виміряне в ммоль/л [15].

Для проведення дослідів було підготовлено наважки глюкози різної маси. Розрахунок проводиться за формулою (2.4):

$$m_{pp} = v_{pp} \cdot M, \quad (2.4)$$

де v_{pp} – кількість моль розчиненої речовини;

M – молярна маса глюкози, 180 г/моль.

Кількість моль було обрано в діапазоні від 0,5 ммоль до 64 ммоль з різним кроком. Згідно з формулою (2.4) діапазон маси буде від 0,09 г до 11,52 г:

$$m_{pp} = v_{pp} \cdot M = 0.5 \text{ ммоль} \cdot 180 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 90 \text{ мг} = 0,09 \text{ г},$$

$$m_{pp} = 64 \text{ ммоль} \cdot 180 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 11520 \text{ мг} = 11,52 \text{ г}.$$

Для розрахунку питомого обертання одиниця вимірювання концентрації повинна бути виміряна в г/см³ або г/мл. Тоді з формули (2.2) діапазон концентрацій для обраних мас глюкози буде 0,00009-0,01152 г/мл:

$$\rho = \frac{m_{pp}}{V} = \frac{0,09 \text{ г}}{1 \text{ л}} = \frac{0,09 \text{ г}}{1000 \text{ мл}} = 0,00009 \frac{\text{г}}{\text{мл}},$$

$$\rho = \frac{11,52 \text{ г}}{1000 \text{ мл}} = 0,01152 \frac{\text{г}}{\text{мл}}.$$

Відповідно до формули (2.3), концентрація буде в межах 0,5-64 ммоль/л (об'єм V=1 л):

$$C = \frac{v_{pp}}{V} = \frac{0,5 \text{ ммоль}}{1 \text{ л}} = 0,5 \frac{\text{ммоль}}{\text{л}},$$

$$C = \frac{64 \text{ ммоль}}{1 \text{ л}} = 64 \frac{\text{ммоль}}{\text{л}}.$$

Всі обрані та розраховані значення обирались з врахуванням реального вмісту глюкози в крові людини: значення 0-2,2 ммоль/л відповідає стану гіпоглікемічної коми, 3,0-5,5 ммоль/л вважається нормованим значенням, більше 15 ммоль/л – гіперглікемічна кома [16].

2.2 Використання методу оптичної поляриметрії

Для використання методу поляриметрії потрібно підготувати описані розчини в п. 2.1. Для цього спочатку було підготовлено 122 наважки глюкози. Деякі з них представлені на рисунку 2.1, на кожній упаковці написана маса у міліграмах.

Мінімальна маса глюкози 90 мг, максимальна 11520 мг. Крок у наважках не рівномірний: для концентрацій 3,3-6 ммоль/л крок становить 18 мг, для всіх інших концентрацій – 180 мг. Була використана 100% глюкоза, тобто без домішок які можуть вплинути на подальші розрахунки.

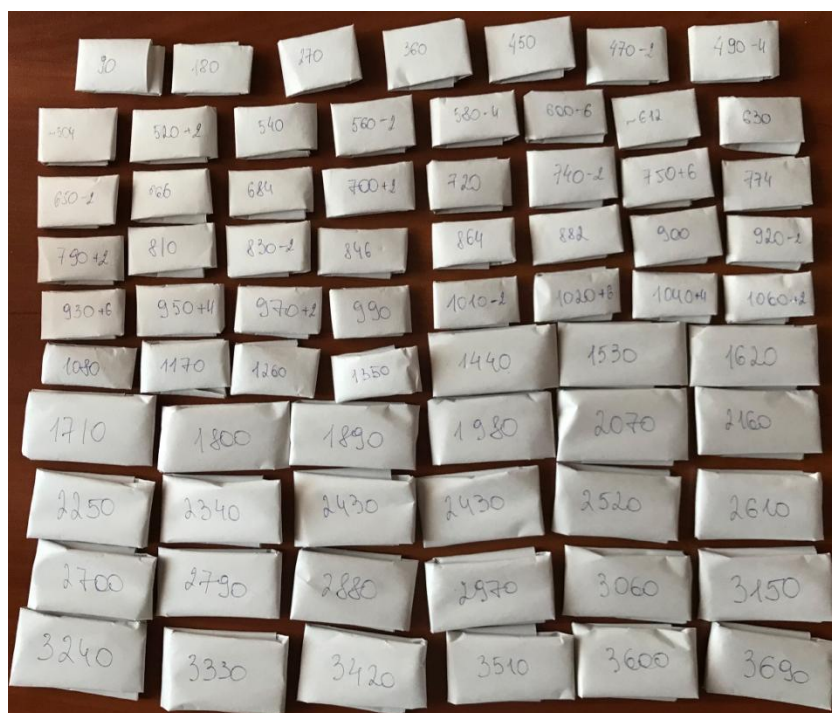


Рисунок 2.1 – Наважки глюкози різної маси

Для зважування було використано рівноплечі терези 2-го класу. Загальний вигляд представлено на рисунку 2.2. Ці терези призначені для дозування сухих лікарських засобів за масою (в т.ч. і для глюкози).

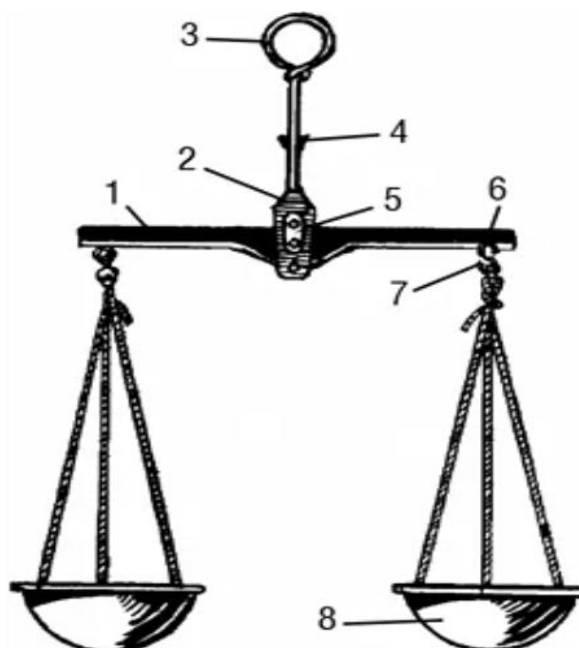


Рисунок 2.2 – Терези ручні аптечні (рівноплечі): 1 – коромисло, 2 – обоймиця, 3 – кільце, 4 – стрілка, 5 – щічка, 6 – призма вантажоприймача, 7 – сержка, 8 – чашка

Існує чотири види ручних терезів:

- ваги ручні аптечні ВР-1 (маса зважування: 20 мг – 1 г) (рис. 2.3, а);
- ваги ручні аптечні ВР-5 (маса зважування: 100 мг – 5 г) (рис. 2.3, б);
- ваги ручні аптечні ВР-20 (маса зважування: 1 г – 20 г);
- ваги ручні аптечні ВР-100 (маса зважування: 5 г – 100 г).

Принцип цих терезів базується на законі врівноваження важеля, тому в одну чашку було насипано глюкозу, в іншу – покладено гирі (рис. 2.4). Мінімальна вага гирь була 2 мг.



а)

б)

Рисунок 2.3 – Терези 2-го класу
ручні: а) ВР-1, б) ВР-5



Рисунок 2.4 – Гирі для зважування від
2 мг

Після утворення наважок глюкози були приготовані розчини. Для цього використовували мірну склянку зі скла на 1000 мл. Спочатку наливали 500 мл води, далі додавали одну наважку глюкози, розчиняли неї у даному об'ємі і потім додавали воду до відмітки 1000 мл. Для приготування всіх розчинів використовували дистильовану воду, з хімічної точки зору вона є чистою.

Далі цей розчин переливали в скляну банку і залишали на 1-2 години, щоб в розчині відбулось явище мутаротації. Далі мірним скляним циліндром на 50 мл відміряли 50 мл з кожного розчину для подальшого використання в поляриметрі. На рисунку 2.5 представлено декілька перших розчинів.

Розчин під номером 1 (рис. 2.5) – вода, яка використовувалась для приготування всіх розчинів. Даний розчин потрібний для виставлення нуля

поляриметра і зменшення впливу кювети з водою на отримані дані з поляриметра. Всі інші розчини нумерувались зі зростанням концентрації в них.

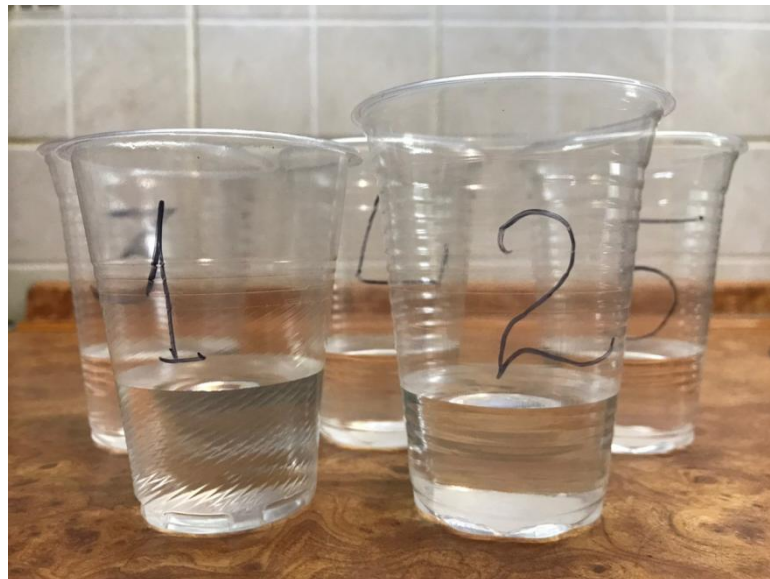


Рисунок 2.5 – Розчини глюкози об'ємом 50 мл та різної концентрації

Для визначення кута повороту площини поляризації було використано автоматичний поляриметр АТАГО АР-300. Зовнішній вигляд зображено на рисунку 2.6, екран виведення значень при ввімкненні приладу на рисунку 2.7.



Рисунок 2.6 – Автоматичний поляриметр АР-300

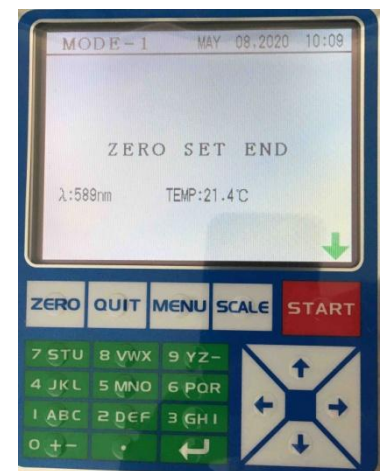


Рисунок 2.7 – Екран виводу

Даний прилад має такі показники:

- кут повороту;
- міжнародна цукрова шкала (без температурної компенсації);

- міжнародна цукрова шкала (з автоматичною температурною компенсацією);
- специфічний оптичний поворот, концентрація, чистота речовини.

В даній дипломній роботі визначався кут повороту, тому в таблиці 2.1 описані технічні характеристики поляриметра AP-300, які можуть вплинути на його значення.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики поляриметра AP-300

| № | Характеристики | Показники |
|---|--|-------------------------|
| 1 | Діапазон вимірювання кута повороту | -89.999° до 89.999° |
| 2 | Мінімальне значення вимірювання кута повороту | 0.01° |
| 3 | Точність вимірювання кута повороту | ±0.01° |
| 4 | Відносна точність | ±0.2% |
| 5 | Температурна компенсація | від 18.0 °C до 30.0 °C; |
| 6 | Кювета | 200 мм (об'єм ≈ 15 мл) |
| 7 | Довжина хвилі, на якій проводиться вимірювання | 589 нм (D-лінія). |

Як раніше було описано, для досліджень було підготовлено розчини об'ємом 50 мл. Згідно з технічними характеристиками поляриметра об'єм кювети ≈ 15 мл. Для збільшення точності вимірювань (проводили по 3 вимірювання) потрібно було перед кожним вимірюванням прополоскати кювету від попереднього розчину.

На екрані виводу (рис. 2.7), крім показника кута повороту площини поляризації, виводиться показання температури розчину, який досліджується. Оскільки питоме обертання залежить від цих показників, то вони також були занесені до бази даних.

2.3 Створення бази даних

На основі всіх отриманих даних з досліджень було створено базу даних в середовищі Microsoft Excel. Фрагмент отриманої бази даних наведено в таблиці 2.2.

Для простоти обрахунку в перший стовпчик були занесені всі значення мас глюкози в міліграмах. В другому стовпчику за формулою (2.3) розраховано значення концентрацій в ммоль/л. В наступних трьох (3-5) – значення кута повороту. Оскільки для точності вимірювання кута обертання для кожного розчину було проведено по 3 дослідження, для подальшого визначення залежності було знайдено середні значення даних кутів та занесено в 6 стовпчик. В сьомому стовпчику розраховано за формулою (2.2) значення концентрації в г/мл. В наступному розраховано питоме обертання за формулою (1.2). Останні 4 стовпчика (9-12) – значення температур для кожного розчину та їх середнє значення.

Таблиця 2.2 – Фрагмент бази даних

| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|----|-----|-----|------|------|------|-------|----------|---------|------|------|------|-------|
| 1 | 90 | 0,5 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,013 | 0,00009 | 74,0740 | 21,4 | 21,4 | 21,4 | 21,40 |
| 2 | 180 | 1 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,027 | 0,00018 | 74,0740 | 21,4 | 21,5 | 21,4 | 21,43 |
| 3 | 270 | 1,5 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,033 | 0,00027 | 61,7283 | 21,5 | 21,6 | 21,4 | 21,50 |
| 4 | 360 | 2 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,037 | 0,00036 | 50,9259 | 21,7 | 21,7 | 21,9 | 21,77 |
| 5 | 450 | 2,5 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,043 | 0,00045 | 48,1481 | 22,4 | 22,3 | 21,8 | 22,17 |
| 6 | 468 | 2,6 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,047 | 0,000468 | 49,8575 | 21,9 | 22,1 | 21,9 | 21,97 |
| 7 | 486 | 2,7 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,050 | 0,000486 | 51,4403 | 21,6 | 21,7 | 21,9 | 21,73 |
| 8 | 504 | 2,8 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,050 | 0,000504 | 49,6031 | 23,1 | 22,8 | 22,9 | 22,93 |
| 9 | 522 | 2,9 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,053 | 0,000522 | 51,0855 | 22,7 | 22,5 | 22,7 | 22,63 |
| 10 | 540 | 3 | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,057 | 0,00054 | 52,4691 | 21,9 | 21,9 | 21,5 | 21,77 |
| 11 | 558 | 3,1 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,060 | 0,000558 | 53,7634 | 20,9 | 21,3 | 21,2 | 21,13 |
| 12 | 576 | 3,2 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,060 | 0,000576 | 52,0833 | 21,5 | 21,6 | 21,4 | 21,50 |
| 13 | 594 | 3,3 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,063 | 0,000594 | 53,3108 | 20,8 | 20,9 | 21,2 | 20,97 |
| 14 | 612 | 3,4 | 0,06 | 0,07 | 0,06 | 0,063 | 0,000612 | 51,7429 | 21,3 | 20,7 | 20,9 | 20,97 |
| 15 | 630 | 3,5 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,067 | 0,00063 | 52,9100 | 22,5 | 21,7 | 22,1 | 22,10 |
| 16 | 648 | 3,6 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,067 | 0,000648 | 51,4403 | 21,7 | 21,7 | 21,9 | 21,77 |
| 17 | 666 | 3,7 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,070 | 0,000666 | 52,5525 | 21,5 | 21,5 | 21,6 | 21,53 |
| 18 | 684 | 3,8 | 0,08 | 0,06 | 0,07 | 0,070 | 0,000684 | 51,1695 | 22,1 | 22,3 | 21,9 | 22,10 |
| 19 | 702 | 3,9 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,073 | 0,000702 | 52,2317 | 23,1 | 22,8 | 22,9 | 22,93 |
| 20 | 720 | 4 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,073 | 0,00072 | 50,9259 | 22,1 | 22 | 22,1 | 22,07 |
| 21 | 756 | 4,2 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,077 | 0,000756 | 50,7054 | 22,3 | 22,3 | 22,1 | 22,23 |
| 22 | 774 | 4,3 | 0,08 | 0,07 | 0,09 | 0,080 | 0,000774 | 51,6795 | 21,8 | 21,5 | 21,7 | 21,67 |
| 23 | 792 | 4,4 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,080 | 0,000792 | 50,5050 | 21,6 | 21,7 | 21,9 | 21,73 |
| 24 | 810 | 4,5 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | 0,083 | 0,00081 | 51,4403 | 22,6 | 22,9 | 22,7 | 22,73 |
| 25 | 828 | 4,6 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,083 | 0,000828 | 50,3220 | 20,9 | 21,3 | 21,2 | 21,13 |

Для подальшого аналізу всіх значень та знаходження залежності питомого обертання від концентрації розчину, базу даних було перенесено в програму для статистичної обробки даних IBM SPSS Statistics.

Висновок до розділу 2

У даному розділі розглянуто поняття розчину та його основні якісні і кількісні характеристики. Детально описано концентрацію, теоретичний розрахунок частки та концентрації розчинів та їх застосування у проведенні дослідів.

Детально описано використання методу оптичної поляриметрії, а саме підготовка наважок глюкози, створення розчинів потрібної концентрації і об'єму, технічні характеристики автоматичного поляриметра АР-300, на якому проводились досліді.

З отриманих і розрахованих значень створено базу даних для подальшого її аналізу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БМ61.14.2505.1191 | Лист |
| | | | | | | |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | 30 |

РОЗДІЛ 3

ПОБУДОВА ПРОГНОСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ГЛЮКОЗИ

3.1 Оброблення отриманих результатів за допомогою комп'ютерної програми для статистичної обробки даних IBM SPSS Statistics

3.1.1 Побудова математичних моделей з використанням лінійної регресії

Регресійний аналіз – інструмент для кількісного передбачення значення однієї залежної змінної на основі незалежних змінних. Даний аналіз використовується для визначення вкладу окремих незалежних змінних у варіацію залежної змінної. Регресійний аналіз не можна використовувати для визначення наявності зв'язку між змінними, оскільки наявність такого зв'язку є передумовою для застосування цього аналізу. [17]

В загальному вигляді рівняння множинної лінійної регресії має вигляд:

$$y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_m x_m + \varepsilon, \quad (3.1)$$

де y – залежна змінна;

x_1, x_2, \dots, x_m – незалежні змінні;

α – константа, яка визначає точку перетину прямої з віссю y ;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ – кутові коефіцієнти, які характеризують нахил прямої;

m – натуральне число, яке вказує кількість незалежних змінних та коефіцієнтів при них;

ε – залишки.

При $m=2$ рівняння регресії задає не пряму, а площину, при $m>2$ звичайним чином його взагалі візуалізувати неможна.

Коефіцієнти β представляють силу і тип взаємозв'язку незалежної змінної по відношенню до залежної. Чим більше коефіцієнт β при незалежній змінній x , тим сильніше ця змінна впливає на залежну змінну y .

Залишки собою представляють незалежні випадкові величини, середнє значення яких дорівнює 0; вони мають однакову (постійну) дисперсію та підчиняються закону нормального розподілу. При цьому в регресійному аналізі обов'язково перевіряти залишки на нормальний розподіл та на відсутність автокореляції.

Відсутність автокореляції виявляється за допомогою тесту Дурбіна-Уотсона.

Інтерпретація тесту Дурбіна-Уотсона:

- значення рівне 0 – повна додатна автокореляція;
- значення близьке і рівне 4 – повна від'ємна автокореляція;
- значення в межах 1,5-2,5 – відсутність автокореляції.

Для оцінки якості отриманого рівняння використовують коефіцієнт множинної детермінації R-квадрат. Цей коефіцієнт показує, яку долю мінливості залежної змінної пояснює незалежна змінна. Величина цього коефіцієнта перебуває в межах від 0 до 1. Чим ближче значення до одиниці, тим тісніший зв'язок між змінними та рівняння більш якісно описує дані. [20]

Під якістю розуміється ступінь відповідності розрахованих по даному рівнянню значень залежної змінної до фактичних значень y .

В якості незалежних змінних було обрано концентрацію розчину глюкози в г/мл та його середню температуру, в якості залежної змінної – питоме обертання глюкози в розчині.

Оскільки існує декілька методів побудови множинної лінійної моделі, то було проведено порівняльний аналіз методів та їх побудованих рівнянь, а також отриманих результатів ключових параметрів, по яким відбуватиметься вибір оптимального методу для інтерпретації залежності, а саме коефіцієнт

кореляції R, коефіцієнт детермінації R-квадрат та скорегований R-квадрат (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Результати порівняльного аналізу методів лінійної регресії

| Метод | Рівняння | R | R-квадрат | Скорегований R-квадрат |
|--------------------|--|-------|-----------|------------------------|
| Enter (введення) | $y = (-546,487) \cdot x_1 + (-0,375) \cdot x_2 + 58,418$ | 0,427 | 0,183 | 0,169 |
| Покроково | $y = (-544,106) \cdot x_1 + 50,267$ | 0,424 | 0,180 | 0,173 |
| Remove (видалення) | $y = 48,140$ | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Назад | $y = (-544,106) \cdot x_1 + 50,267$ | 0,424 | 0,180 | 0,173 |
| Переадресувати | $y = (-544,106) \cdot x_1 + 50,267$ | 0,424 | 0,180 | 0,173 |

Таким чином, враховуючи результати аналізу, можна зробити висновок, що оптимальним методом для опису залежності між залежною змінною питоме обертання та незалежними змінними концентрація і температура є метод Enter. Це пояснюється тим, що значення r (R^2 та «Скорегований R^2 », відповідно) найбільше саме для цієї функції. Далі всі таблиці буде наведено для методу Enter.

В таблицях 3.2 та 3.3 можна побачити значення статистики та кореляції між змінними, що аналізуються. Аналіз кореляції між змінними показує наявність статистично значимого зв'язку.

Таблиця 3.2 – Описові статистики для методу Enter

| | Середнє значення | Середнє квадратичне відхилення | Кількість спостережень |
|--------------------|------------------|--------------------------------|------------------------|
| Питоме обертання | 48,1400 | 4,2716 | 122 |
| Концентрація, г/мл | 0,0039 | 0,0033 | 122 |
| Температура | 21,7128 | 0,5736 | 122 |

У таблиці 3.4 для питомого обертання значення виміряні у град/дм·г/см³, концентрація – у г/мл, температура – у градусах Цельсія (°C).

Побудову множинної лінійної моделі зроблено за допомогою методу «Enter» (табл. 3.4).

З таблиці 3.4 видно, що працює метод «Enter», оскільки модель побудована шляхом примусового включення незалежних змінних і видалених змінних немає.

Таблиця 3.3 – Кореляція для методу Enter

| Статистичний показник | Параметр | Питоме обертання | Концентрація | Температура |
|------------------------|------------------|------------------|--------------|-------------|
| Кореляція Пірсона | Питоме обертання | 1,000 | -0,424 | -0,035 |
| | Концентрація | -0,424 | 1,000 | -0,097 |
| | Температура | -0,035 | -0,037 | 1,000 |
| Значимість | Питоме обертання | | 0,000 | 0,352 |
| | Концентрація | 0,000 | | 0,343 |
| | Температура | 0,352 | 0,343 | |
| Кількість спостережень | Питоме обертання | 122 | 122 | 122 |
| | Концентрація | 122 | 122 | 122 |
| | Температура | 122 | 122 | 122 |

Таблиця 3.4 – Введення/видалення змінних для методу Enter

| Модель | Введені змінні | Видалені змінні | Метод |
|--------|-----------------------------------|-----------------|-------|
| 1 | Температура Концентрація, г/мл | - | Enter |

В таблиці 3.5 наведені значення коефіцієнтів регресії R, R-квадрат та результати тесту Дурбіна-Уотсона.

Таблиця 3.5 – Зведення для моделі для методу Enter

| Модель | R | R-квадрат | Скорегований R-квадрат | Стандартна помилка оцінки | Дурбін-Уотсон |
|--------|-------|-----------|------------------------|---------------------------|---------------|
| 1 | 0,427 | 0,183 | 0,169 | 3,89423 | 1,901 |

З таблиці 3.5 можна оцінити якість отриманої моделі за показником коефіцієнта детермінації. Видно, що значення показника коефіцієнту детермінації становить 0,183, що свідчить про те, що за допомогою незалежних змінних можна пояснити близько 18,3% варіацій питомого обертання. Також цей коефіцієнт показує середню ступінь взаємозв'язку між фактичними та передбаченими значеннями.

Значення тесту Дурбіна-Уотсона рівне 1,901, що не виходить за межі [1,5; 2,5], тому можна зробити висновок про те, що автокореляції немає.

В таблиці 3.6 зазначено результат моделювання коефіцієнтів множинної лінійної регресії. Звідси можна зробити висновок, що рівняння регресії буде виглядати наступним чином:

$$y = (-546,487) \cdot x_1 + (-0,375) \cdot x_2 + 58,418, \quad (3.2)$$

де y – питоме обертання глюкози в розчині;

x_1 – концентрація розчину глюкози в г/мл;

x_2 – середня температура розчину.

Таблиця 3.6 – Коефіцієнти для методу Enter

| | Нестандартизовані коефіцієнти | | Станд. коефіцієнти | t | Значимість | Статистика колінеарності | |
|--------------|-------------------------------|----------------|--------------------|--------|------------|--------------------------|-------|
| | B | Станд. помилка | Бета | | | Допуск | VIF |
| (Константа) | 58,418 | 13,435 | | 4,348 | 0,000 | | |
| Концентрація | -546,487 | 106,332 | -0,426 | -5,136 | 0,000 | 0,999 | 1,001 |
| Температура | -0,375 | 0,618 | -0,050 | -0,607 | 0,545 | 0,999 | 1,001 |

Також з даної таблиці можна побачити, що значення VIF (Variance Inflation Factor) для кожної незалежної змінної менше 10, а саме 1,001. Це свідчить про те, що регресійна модель допустима для подальшої роботи, бо ефекту мультиколінеарності не спостерігається, тобто незалежні змінні між собою є незалежними.

Останнім кроком при аналізі моделі є проведення аналізу залишків, тобто відхилень спостережуваних значень від теоретично очікуваних. Залишки повинні з'являтися випадково (тобто не систематично) і підкорятись нормальному розподілу [18].

На рисунку 3.1 представлено гістограму розподілу залишків. Як можна побачити з даного рисунку, залишки не відповідають нормальному розподілу, але близькі до нього.

Проте, враховуючи те, що значення коефіцієнту детермінації є низьким та пояснює лише 18,3% варіацій питомого обертання, було прийнято рішення використати методи нелінійної регресії.

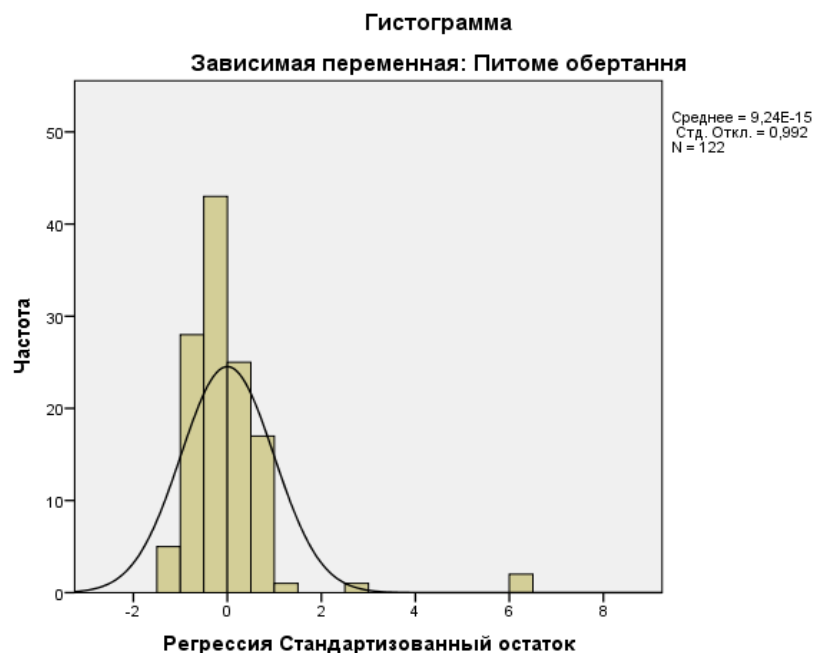


Рисунок 3.1 – Гістограма розподілу залишків для змінної «Питоме обертання»

3.1.2 Побудова математичних моделей з використанням нелінійної регресії

За допомогою такого статичного методу як нелінійна регресія можна дослідити дані з бази даних (табл. 2.2), що були отримані за допомогою поляриметра. Даний метод дозволяє передбачити значення певної залежної змінної на основі незалежної.

Для використання нелінійної регресії потрібно провести розрахунок нелінійної моделі для аналізу форми зв'язку між незалежною змінною – концентрація, г/мл (в рівнянні змінна x) та залежною змінною – питоме обертання (в рівнянні змінна y).

Для побудови нелінійних регресійних моделей обов'язково потрібно було сформовано нові змінні результати в результатів розрахунку нелінійних членів поліномів (рис. 3.2), а саме:

- конц1 – концентрація глюкози в -1 степені;
- конц2 – концентрація глюкози в 2 степені;

– конц3 – концентрація глюкози в 3 степені.

| Концентрація | Конц2 | Конц3 | Конц1 |
|--------------|--------------|---------------|----------|
| ,000090 | ,00000000810 | ,000000000001 | 11111,11 |
| ,000180 | ,00000003240 | ,000000000006 | 5555,56 |
| ,000270 | ,00000007290 | ,000000000020 | 3703,70 |
| ,000360 | ,00000012960 | ,000000000047 | 2777,78 |
| ,000450 | ,00000020250 | ,000000000091 | 2222,22 |
| ,000468 | ,00000021902 | ,000000000103 | 2136,75 |
| ,000486 | ,00000023620 | ,000000000115 | 2057,61 |
| ,000504 | ,00000025402 | ,000000000128 | 1984,13 |
| ,000522 | ,00000027248 | ,000000000142 | 1915,71 |
| ,000540 | ,00000029160 | ,000000000157 | 1851,85 |
| ,000558 | ,00000031136 | ,000000000174 | 1792,11 |
| ,000576 | ,00000033178 | ,000000000191 | 1736,11 |
| ,000594 | ,00000035284 | ,000000000210 | 1683,50 |
| ,000612 | ,00000037454 | ,000000000229 | 1633,99 |
| ,000630 | ,00000039690 | ,000000000250 | 1587,30 |
| ,000648 | ,00000041990 | ,000000000272 | 1543,21 |

Рисунок 3.2 – Фрагмент бази з генерованими змінними

Далі буде також використовуватися коефіцієнт кореляції. Коефіцієнт кореляції Пірсона (R) – показник залежності між двома змінними X та Y, який набуває значень від -1 до +1 включно. Цей коефіцієнт показує ступінь залежності між змінними. Чим ближче він до значень ± 1 , тим більша залежність між змінними. Знак вказує на напрямок залежності між змінними. [19]

Рівняння тим краще, чим більшу частину варіації залежної змінної воно може пояснити. Для оцінки якості нелінійної регресії використовують коефіцієнт детермінації R-квадрат. Величина цього індексу перебуває в межах від 0 до 1. Чим ближче значення до одиниці, тим тісніший зв'язок між змінними та рівняння більш адекватно описує дані. [20]

В таблиці 3.7 наведено результати порівняльного аналізу побудованих нелінійних регресійних моделей (назва моделі, побудовані рівняння, коефіцієнт кореляції R, коефіцієнт детермінації R-квадрат та скорегований R-квадрат).

Таблиця 3.7 – Порівняльний аналіз нелінійних регресійних моделей

| № | Назва моделі | Рівняння | R | R ² | Скорего- ваний R ² |
|----|-----------------|---|-------|----------------|----------------------------------|
| 1 | Лінійна | $y = 50,267 + (-544,106) \cdot x$ | 0,424 | 0,180 | 0,173 |
| 2 | Логарифмічна | $y = 31,696 + (-2,731) \cdot \ln(x)$ | 0,697 | 0,486 | 0,481 |
| 3 | Зворотна | $y = 45,704 + \frac{0,003}{x}$ | 0,905 | 0,820 | 0,818 |
| 4 | Квадратична | $y = 53,162 + (-2661,573) \cdot x + 204694,66 \cdot x^2$ | 0,630 | 0,397 | 0,387 |
| 5 | Кубічна | $y = 55,816 + (-6147,056) \cdot x + 1046767 \cdot x^2 + (-51544256) \cdot x^3$ | 0,706 | 0,498 | 0,485 |
| 6 | Складова | $\ln y = \ln(49,998) + x \cdot \ln(2,703 \cdot 10^{-5})$ або $y = 49,998 \cdot (2,703 \cdot 10^{-5})^x$ | 0,453 | 0,205 | 0,199 |
| 7 | Степенева | $\ln y = \ln(35,176) + (-0,052) \cdot \ln(x)$ або $y = 35,179 \cdot x^{-0,052}$ | 0,727 | 0,528 | 0,524 |
| 8 | П-крива | $\ln y = 3,828 + \frac{5,559 \cdot 10^{-5}}{x}$ або $y = e^{3,828 + \frac{5,559 \cdot 10^{-5}}{x}}$ | 0,889 | 0,790 | 0,788 |
| 9 | Зростання | $\ln y = 3,912 + x \cdot (-10,519)$ або $y = e^{3,912 + x \cdot (-10,519)}$ | 0,453 | 0,205 | 0,199 |
| 10 | Експоненціальна | $y = 49,998 \cdot e^{x \cdot (-10,519)}$ або $\ln y = \ln(49,998) + x \cdot (-10,519)$ | 0,453 | 0,205 | 0,199 |
| 11 | Логістична | $\ln\left(\frac{1}{y} - \frac{1}{100}\right) = \ln(0,010) + x \cdot \ln(4851635257)$ або $y = \frac{1}{\frac{1}{100} + 0,010 \cdot 4851635257^x}$ | 0,413 | 0,170 | 0,163 |

На рисунку 3.3 зображено графіки функцій залежності між питомим обертанням та концентрацією з використанням методу нелінійної регресії.

Враховуючи результати аналізу методів нелінійної регресії (табл. 3.7), можна зробити висновок, що оптимальною функцією для опису залежності між питомим обертанням і концентрацією є зворотна регресія (рис. 3.4). Це пояснюється коефіцієнтом детермінації (R-квадрат), який найбільший саме для цієї функції та графіком залежностей.

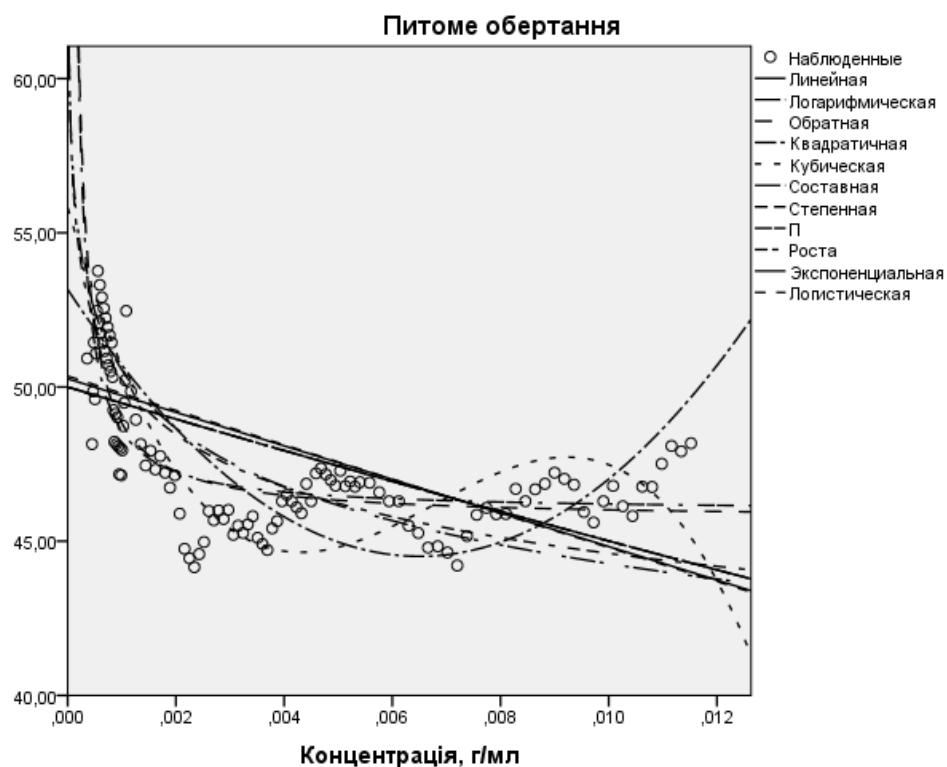


Рисунок 3.3 – Графіки функцій залежності між питомим обертанням та концентрацією з використанням методу нелінійної регресії

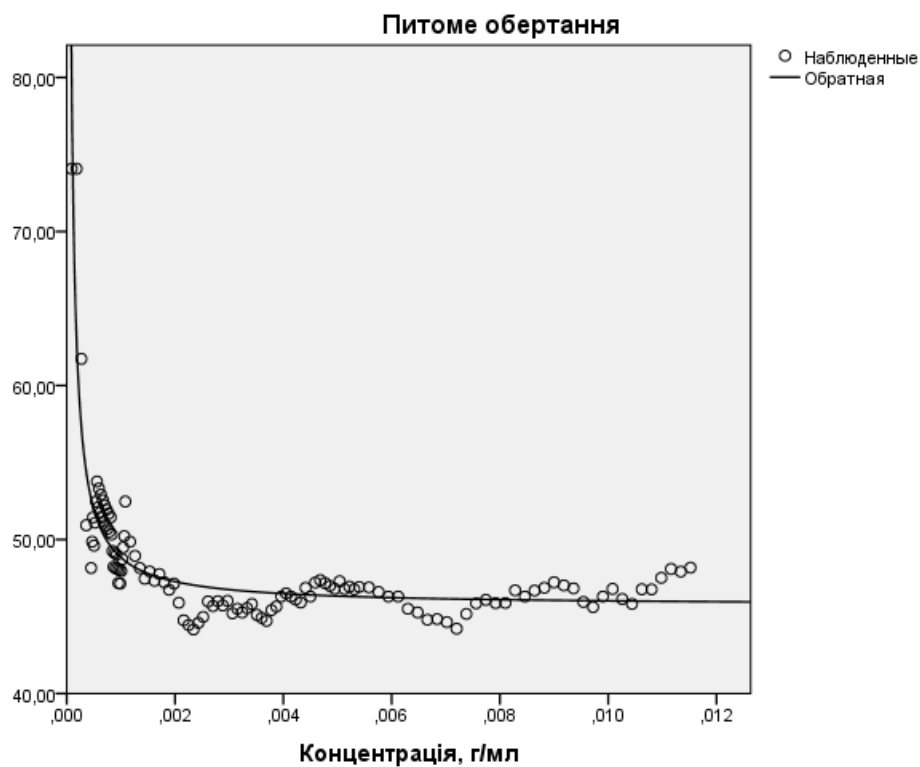


Рисунок 3.4 – Зворотна математична модель, яка описує залежність питомого обертання глюкози від її концентрації

3.2 Порівняння отриманих результатів з теоретичними дослідженнями

Для перевірки отриманого рівняння було обрано 10 розчинів глюкози з різною концентрацією. За теоретичне значення було обрано початкове значення питомого обертання з бази даних. Далі використовуючи рівняння зворотної регресії було розраховано питома обертання та позначено як практичне.

В таблицю 3.8 внесено значення концентрації в г/мл та питомі обертання в град/дм·г/см³.

Таблиця 3.8 – Порівняння отриманих результатів з теоретичними дослідженнями

| № | Концентрація, г/мл | Питома обертання (теор.) | Питома обертання (практ.) |
|----|--------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1 | 0,000558 | 53,76344 | 51,08034 |
| 2 | 0,000774 | 51,67959 | 49,57997 |
| 3 | 0,00099 | 47,13805 | 48,73430 |
| 4 | 0,00171 | 47,75828 | 47,45839 |
| 5 | 0,00279 | 45,99761 | 46,77927 |
| 6 | 0,00387 | 45,65030 | 46,47919 |
| 7 | 0,00441 | 46,38427 | 46,86319 |
| 8 | 0,00495 | 46,80135 | 46,31006 |
| 9 | 0,00558 | 46,24163 | 46,89367 |
| 10 | 0,00666 | 44,79479 | 46,15445 |
| 11 | 0,00774 | 46,09160 | 46,08096 |
| 12 | 0,00882 | 46,86319 | 46,04414 |
| 13 | 0,0099 | 46,00703 | 46,29630 |
| 14 | 0,01098 | 47,51063 | 45,97722 |
| 15 | 0,01152 | 45,96442 | 48,17708 |

Як бачимо з таблиці 3.8, теоретичне та практичне значення відрізняються. Тому далі доцільно провести оцінку точності побудованої прогностичної моделі.

3.3 Оцінка точності побудованої прогностичної моделі

Для подальшого використання отриманої залежності в неінвазивному глюкометрі необхідно привести формулу 1.4 та рівняння зворотної регресії в загальну формулу залежності концентрації розчину глюкози від кута повороту площини поляризації. Ця залежність має вигляд:

$$C = \frac{\alpha}{l \cdot [\alpha]_{\lambda}^t} = \frac{\alpha}{l \cdot \left(45,704 + \frac{0,003}{C}\right)}, \quad (3.3)$$

звідси

$$C = \frac{\alpha - 0,003 \cdot l}{45,704 \cdot l}.$$

Для оцінки точності побудованої прогностичної моделі розрахуємо відносну похибку вимірювань. Для перевірки було обрано значення концентрацій, які близькі до нормованих значень вмісту глюкози в крові людини. В таблиці 3.9 наведено значення кута повороту, які виміряні поляриметром, відповідні йому значення концентрацій в г/мл з бази даних (теоретична) та розраховані за формулою 3.3 (практичне) і відносна похибка.

Таблиця 3.9 – Оцінка точності побудованої прогностичної моделі

| № | Кут повороту | Концентрація (теор.) | Концентрація (практ.) | Відносна похибка, % |
|----|--------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | 0,05 | 0,000504 | 0,0004814 | 4,492 |
| 2 | 0,057 | 0,00054 | 0,0005579 | -3,322 |
| 3 | 0,067 | 0,00063 | 0,000655 | -3,968 |
| 4 | 0,073 | 0,00072 | 0,000733 | -1,802 |
| 5 | 0,08 | 0,00079 | 0,0008096 | -2,217 |
| 6 | 0,083 | 0,00081 | 0,0008424 | -3,997 |
| 7 | 0,087 | 0,00090 | 0,0008861 | 1,540 |
| 8 | 0,093 | 0,00099 | 0,0009518 | 3,861 |
| 9 | 0,103 | 0,00104 | 0,0010612 | -1,645 |
| 10 | 0,117 | 0,00117 | 0,0012143 | -3,789 |
| 11 | 0,17 | 0,00180 | 0,0017942 | 0,325 |

Продовження таблиці 3.9

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|-------|---------|-----------|-------|
| 12 | 0,217 | 0,00243 | 0,0023083 | 5,007 |
| 13 | 0,247 | 0,00270 | 0,0026365 | 2,351 |
| 14 | 0,323 | 0,00360 | 0,003468 | 3,668 |
| 15 | 0,417 | 0,00450 | 0,004496 | 0,082 |

Похибка вимірювання коливається в межах від -3,997% до 5,007%. Ця похибка може залежати від деяких чинників, а саме неточності при утворенні розчинів, поганому промиванні кювети поляриметра. Також на це впливає температура розчину, адже залежність питомого обертання від концентрації та температури за допомогою множинної лінійної регресії є середньою.

Але зважаючи на той факт, що похибка інвазивних глюкометрів 10-15%, то отримана неінвазивним поляриметричним методом похибка є прийнятною, і на даний момент дуже точною.

Висновок до розділу 3

В даному розділі було проведено статистичну обробку отриманих результатів дослідження за допомогою програми для статистичної обробки даних IBM SPSS Statistics.

Побудовано математичну модель за допомогою лінійної регресії для встановлення залежності питомого обертання від концентрації розчину глюкози та його середньої температури. Також побудовано математичні моделі з використанням нелінійної регресії для встановлення залежності питомого обертання від концентрації розчину. Було обрано найкращу модель (зворотна регресія), яка описує шукану залежність.

Також було проведено порівняння отриманих результатів з теоретичними дослідженнями, оцінку точності обраної зворотної прогностичної моделі та визначено відносну похибку вимірювання.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальна характеристика приміщення

План приміщення, специфікація технологічного обладнання та оснащення вибраного приміщення вказані на рисунку 4.1 та в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри приміщення, обладнання і оснащення

| № | Найменування | Основні характеристики | К-ть | Поз.рис |
|----|--------------------------------------|---|------|---------|
| 1 | Параметри приміщення | 3000x3500x2700 мм, S= 10,5 м ² , V= 28,35 м ³ | - | - |
| 2 | Двері | 1090x2100 мм, дерево | 1 | - |
| 3 | Природне освітлення | Вікна 1500x1200 мм, металопластик, REHAU | 2 | - |
| 4 | Штучне освітлення | Світильник ЛД-40, дволамповий, Р = 40 Вт, тип ПРА: ртутний | 2 | 1 |
| 5 | Кількість працюючих, п | лаборант | 1 | - |
| 6 | Опалення | Радіатор алюмінієвий Nova Florida LIBECCIO C2 500/100, теплова потужність 174 Вт | 2 | - |
| 7 | Стіл письмовий | 2100x700x900 мм МДФ | 1 | 2 |
| 8 | Персональний комп'ютер | енергоспоживання: 95 Вт споживана потужність: 30,5 Вт розміри монітору 449×183×361 мм розмір дисплею: 18,5" напруга 220В, 50 Гц | 1 | 3 |
| 9 | Принтер I-sense 4410 | 700x450x300 мм пластик напруга 220В, 50 Гц | 1 | 4 |
| 10 | Стелаж хімічний | 1100x550x2000 мм харчова нержавіюча сталь | 1 | 5 |
| 11 | Стіл вимірювальний двотумбовий ЗС-10 | 1100x700x900 мм харчова нержавіюча сталь | 1 | 6 |
| 12 | Поляриметр автоматичний АР-300 | 550x300x220 мм розмір дисплею: 5.6" екран: сенсорний TFT енергоспоживання: 200 Вт напруга 220В, 50 Гц | 1 | 7 |
| 13 | Глюкоза, 100% | порошок, 200 г | 1 | - |
| 14 | Кондиціонер | спліт-система, TOSHIBA 285x715x194 мм потужність охолодження 2.6 кВт | 1 | 8 |
| 15 | Пожежний сповіщувач | димовий ДИП-1 | 1 | 9 |
| 16 | Вогнегасник | порошковий, ОПУ-10, ємність 10 л | 1 | 10 |

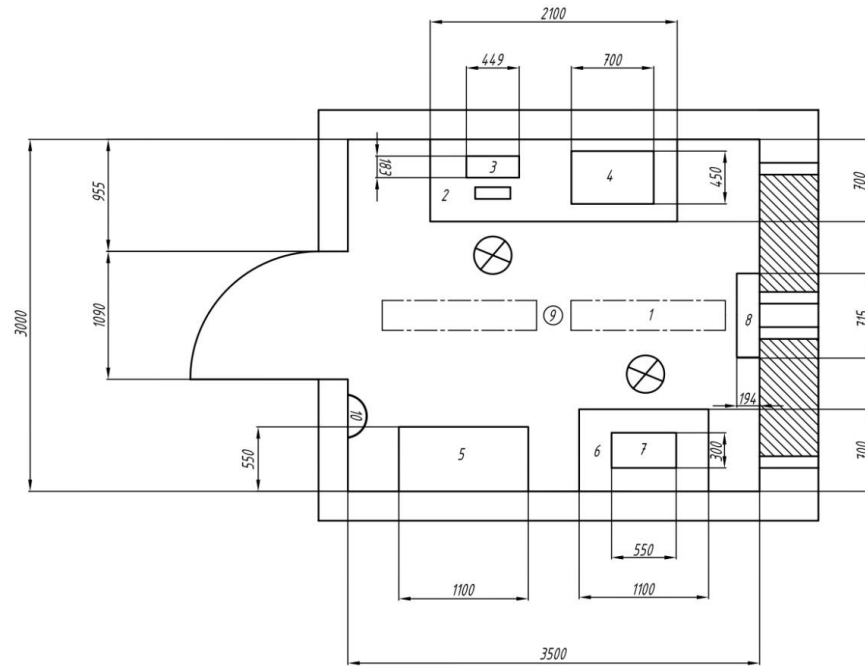


Рисунок 4.1 – План-схема фізичної лабораторії

Характеристика приміщення та порівняння реальних значень з нормативними наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунків

| № | Параметр приміщення | Реальне значення | Нормативне значення |
|---|---------------------------|----------------------|---------------------|
| 1 | Площа на 1 працюючого | 10.5 м ² | 6 м ² |
| 2 | Об'єм на 1 працюючого | 28.35 м ³ | 20 м ³ |
| 3 | Мінімальна ширина проходу | 1.5 м | 1.5 м |

Заходи нормалізації проводити не потрібно, оскільки за НАПБ Б.03.002-2007 обсяг приміщення на одну людину більший нормативного значення [21].

4.2 Оцінка небезпечних і шкідливих виробничих факторів та розробка заходів по покращенню умов праці

Під час проведення дослідів з розчином глюкози у фізичній лабораторії потенційно шкідливим фактором являється хімічна небезпека. Також важливим, але малоймовірним, фактором є пожежна небезпека та небезпека враження електричним струмом під час аварійної ситуації.

Перелік шкідливих та небезпечних виробничих факторів наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори

| № | Найменування небезпеки | Наявність/відсутність |
|---|------------------------|--------------------------|
| 1 | Хімічні | Порошок глюкози, 100% |
| 2 | Фізичні | Електронебезпека, пожежа |
| 3 | Біологічні | Відсутні |
| 4 | Психофізіологічні | Відсутні |

4.3 Хімічна безпека

У даній дипломній роботі хімічна безпека є постійною, оскільки проводяться дослідження з хімічною речовиною. Джерела небезпеки наведено у таблиці 4.4.

Фактичні та нормативні значення наведено у таблиці 4.5.

Засоби та заходи захисту від порошку глюкози наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.4 – Джерела хімічної небезпеки та наслідки

| № | Найменування обладнання | Джерело небезпеки | Причини небезпеки | Наслідки небезпеки |
|---|-------------------------|-----------------------------------|---|--|
| 1 | Глюкоза, 100% | хімічна речовина в сухому вигляді | доступ до хімічної сипучої речовини (технологічний і людський фактор) | подразнення слизових оболонок очей, носових ходів та порожнини рота, нудота і блювання |

Таблиця 4.5 – Фактичні та нормативні значення

| № | Речовина | Фактичні значення, г | Нормативні значення, г |
|---|--|----------------------|------------------------|
| 1 | Глюкоза (при потраплянні у ротову порожнину) | 0-200 | до 15-25 |
| 2 | Глюкоза (при потраплянні у носові ходи та очі) | 0-200 | 0 |

Таблиця 4.6 – Засоби і заходи захисту від порошку глюкози

| № | Група номенклатурних заходів з ОП | Вид заходу | Критерій вибору |
|---|-----------------------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Технічні | Використання готових низьконцентрованих розчинів глюкози | Максимальне зниження ймовірності потрапляння порошку глюкози в організм людини |

Продовження таблиці 4.6

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|----------------|---|--|
| 2 | Організаційні | Інструктаж з правил безпеки, провітрювання | Доступність потрібних знань щодо безпеки проведення дослідів |
| 3 | Експлуатаційні | Не використовувати речовину після закінчення терміну зберігання (2 роки з дня виготовлення) | Запобігання складнішим ураженням |
| 4 | ЗІЗ | Окуляри та респіратори (маски) або захисні щитки | Максимальне зниження ймовірності потрапляння порошку глюкози в організм людини |
| 5 | Режимні | Перевірка посудини з глюкозою на герметичність закриття | Запобігання розсипу хімічної речовини |

За умов дотримання заходів безпеки, хімічні фактори не є критичними.
Характеристика небезпек порошку глюкози згідно з ICSC 0865 [22].

4.4 Електробезпека

Фізична лабораторія не відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою. Обладнання не завдає великого навантаження на мережу.

Джерела небезпеки наведено у таблиці 4.7.

Дані про споживання напруги наведено у таблиці 4.8.

Засоби та заходи захисту від електробезпеки наведено у таблиці 4.9.

Таблиця 4.7 – Джерела електробезпеки

| № | Найменування | Джерело небезпеки | Причини небезпеки | Наслідки небезпеки |
|---|--------------------------------|--|---|--------------------|
| 1 | Поляриметр автоматичний AP-300 | Блок вхідного живлення, деталі що знаходяться під напругою | Пошкодження блоку живлення, кабеля живлення | Ураження струмом |
| 2 | Персональний комп'ютер | Блок живлення | | |
| 3 | Принтер | | | |

Таблиця 4.8 – Фактичні та нормативні значення

| № | Найменування | Реальне значення | Нормативне значення |
|---|--------------------------------|------------------|---------------------|
| 1 | Поляриметр автоматичний AP-300 | >1 А | 1 А |
| | | 220 В | 45 В |

Таблиця 4.9 – Засоби і заходи захисту від електронебезпеки

| № | Група номенклатурних заходів з ОП | Вид заходу | Критерій вибору |
|---|-----------------------------------|---|--|
| 1 | Технічні | використання ізоляційних матеріалів, захисні заземлення | Уникнення пробою, витоків струму, уникнення контакту зі струмопровідними частинами |
| 2 | Організаційні | Інструктаж з правил електробезпеки | Доступність потрібних знань щодо безпеки експлуатації |
| 3 | Експлуатаційні | Своєчасна заміна будь-яких пошкоджених елементів | Забезпечення безпечної роботи з об'єктом |
| 4 | Режимні | Перевірка несправностей тільки у відключеному стані | Уникнення контакту з елементами під напругою |
| 5 | ЗІЗ | Не передбачено | |

За умов дотримання заходів безпеки, виявлена електронебезпека не є критичною.

4.5 Пожежна небезпека

У фізичній лабораторії причиною виникнення пожежі можуть бути декілька джерел, такі як недотримання правил експлуатації приладів та коротке замикання електропроводки, недотримання правил пожежної безпеки (ПБ).

У приміщенні є речовини та матеріали, які здатні горіти.

Джерела небезпеки наведено у таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Джерела пожежної небезпеки

| № | Найменування обладнання | Джерело небезпеки | Причини небезпеки | Наслідки небезпеки |
|---|--------------------------------|---|---|--|
| 1 | Поляриметр автоматичний АР-300 | Блок живлення, пошкодження шнура живлення | Пробій в ізоляційному покритті, коротке замикання | Виникнення пожежі, яка спричинить травматизм працівників, негативний вплив ЦНС, серцево-судинній, дихальній системам, можливі летальні випадки |
| 2 | Глюкоза, 100% | Загорання матеріалів | Зовнішнє загорання | |
| 3 | Легкозаймисті речовини | | | |

Характеристика пожежної небезпеки наведено у таблиці 4.11.

Засоби та заходи захисту від пожежної небезпеки наведено у таблиці 4.12.

Таблиця 4.11 – Характеристика пожежної небезпеки

| № | Нормативний параметр ПБ | Маркування параметру | Критерій вибору |
|---|-------------------------|----------------------|--|
| 1 | Класи пожежі | Клас А (підклас А1) | Горіння твердих речовин: стіл МДФ |
| | | Клас Е | Технічне обладнання – електроустановки під напругою: поліриметр, принтер, ПК |
| 2 | Категорія приміщення | Категорія В | Важкогорючі та тверді горючі матеріали: стелаж, столи |
| 3 | Пожежонебезпечна зона | Клас П-Па | Тверді горючі речовини |

Таблиця 4.12 – Засоби та заходи захисту від пожежної небезпеки

| № | Група номенклатурних заходів з ПБ | Вид заходу | Критерій вибору |
|---|-----------------------------------|---|--|
| 1 | Технічні | Пожежний сповіщувач димовий ДИП-1 | Індикація наявності диму, визначення пожеж електроустановок під напругою |
| | | Вогнегасник порошковий, ОПУ-10, ємність 10 л, у коридорі пожежний кран та рукав | Гасіння первинних осередків займання, підходить для даної категорії приміщення та для всіх класів пожежі |
| 2 | Організаційні | Проведення інструктажів, організація навчання з пожежної безпеки, план евакуації | Позбавлення людського фактору |
| | | Нагляд та контроль за додержанням правил ПБ та стану ПБ приміщення Перевірка техніки безпеки приміщення | Позбавлення від можливих джерел спалаху, що може призвести до пожежі |
| 3 | Режимні | Заборону куріння та застосування відкритого вогню в недозволених місцях | Відкритий вогонь та куріння в фізичній лабораторії може призвести до пожежі |
| 4 | Експлуатаційні | Своєчасне проведення профілактичних оглядів, випробувань, ремонтів технологічного та допоміжного устаткування, а також інженерного господарства | Даний захід було обрано для того, щоб позбавитись можливих джерел спалаху, що може призвести до пожежі |
| 5 | ЗІЗ | Маски, захисний одяг | Запобігання отруєння та опіків |

Для забезпечення безпеки у приміщенні присутній вогнегасник.

Висновки до розділу 4

У даному розділі дипломної роботи було розглянуто норми та заходи щодо охорони праці та техніки безпеки у фізичній лабораторії, вплив шкідливих та небезпечних факторів на лаборанта. Проаналізовано можливі потенційні небезпеки на робочу місці під час проведення дослідів.

Дане приміщення має належні параметри площі та об'єму, допустимі експлуатаційні значення по мікроклімату, електробезпеці, хімічній безпеці, пожежі при дотриманні необхідної техніки безпеки.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БМ61.14.2505.1191 | Лист |
| | | | | | | 49 |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломної роботи було проаналізовано методи неінвазивного визначення концентрації глюкози, детально розглянуто оптичний метод – поляриметрію.

На основі цього методу проведено досліди розчинів глюкози різної концентрації та визначено для кожного розчину значення питомого обертання. На основі всіх отриманих значень було створено базу даних та розраховано додаткові величини. Використовуючи програму для статистичної обробки даних IBM SPSS Statistics побудовано математичні моделі з використанням нелінійної регресії та обрано оптимальну математичну функцію.

Також було оцінено точність побудованої прогностичної моделі та порівняно отримані результати з теоретичними дослідженнями. Побудована зворотна нелінійна функція дозволяє описувати залежність питомого обертання глюкози від її концентрації з допустимою похибкою $\pm 5\%$ порівняно з іншими неінвазивними методами визначення концентрації глюкози.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Portable Non-Invasive Blood Glucose Monitor / A. Duncan, J. Hannigan, S.S. Freeborn, P.W.H. Rae, B. McIver, F. Greig, E.M. Johnston, D.T. Binnie, H.A. MacKenzie // 8th Int. Conf. Solid State Sensors and Actuators and Eurosensors IX; April 2011: abstracts. – Stockholm, Sweden. – 2011. – 455 – 458.
2. Герасименко В.Л. Обзор методов определения глюкозы: [Текст] / В.Л. Герасименко– М.: Наука, 2005. – 356 с.
3. Cotton, Daniel V; Bailey, Jeremy; Howarth, Ian D; Bott, Kimberly; Kedziora-Chudczer, Lucyna; Lucas, P. W; Hough, J. H (2017). "Polarization due to rotational distortion in the bright star Regulus". Nature Astronomy: 690–696
4. Bailey, Jeremy; Cotton, Daniel V.; Kedziora-Chudczer, Lucyna; De Horta, Ain; Maybour, Darren (1 April 2019). "Polarized reflected light from the Spica binary system". Nature Astronomy: 636–641.
5. Neda J. Non-invasive optical techniques for determination of blood glucose levels: a review article / J. Neda, B. Alireza, T. Majid. – 2014 – 224-232.
6. Kohl, M. Influence of glucose concentration on light scattering in tissue-simulating phantoms [Text] / M. Kohl, M. Cope // Opt. Lett. – 1994. – Vol. 19. – P. 2170–2172.
7. Tamar L, Avner G, Yulia M, Keren H, Karnit B. Non-Invasive Glucose Monitoring: A Review of Challenges and Recent Advances. Curr Trends Biomedical Eng & Biosci. – 2017
8. Asmat Nawaz, Per Øhlckers, Steinar Sælid, Morten Jacobsen, M. Nadeem Akram (2016) Review: Non-Invasive Continuous Blood Glucose Measurement Techniques. Journal Of Bioinformatics And Diabetes - 1(3):01-27.
9. Cameron, B.D. Polarization-based diffuse reflectance imaging for noninvasive measurement of glucose [Text] / B.D. Cameron, Y. Li // Journal of Diabetes Science and Technology. – 2007. – Vol. 1. – P. 873–878.

10. Hatice VD, Y Tulay (2017) Noninvasive Glucose Measurement for Diabetes Mellitus Patients. Curr Trends Biomed Eng Biosci 2
11. Salam NABA, WH bin M Saad, ZB Manap, F Salehuddin (2016) The Evolution of Non-invasive Blood Glucose Monitoring System for Personal Application. J Telecommun Electron Comput Eng JTEC 8(1): 59-65.
12. Ong WM, SS Chua, CJ Ng (2014) Barriers and facilitators to selfmonitoring of blood glucose in people with type 2 diabetes using insulin: a qualitative study. Patient Prefer Adherence 8: 237-246.
13. A. Govada, C. Renumadhavi, and K. B. Ramesh, "Non -Invasive Blood Glucose Measurement," International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering vol. 3(1), pp. 5122-5155, 2014.
14. H. Ullah, E. Ahmed, and M. Ikram, "Monitoring of glucose levels in mouse blood with noninvasive optical methods," Laser Physics, vol. 24, p. 025601, 2014.
15. Aggidis AGA, JD Newman, GA Aggidis (2015) Investigating pipeline and state of the art blood glucose biosensors to formulate next steps. Biosens Bioelectron 74: 243-262.
16. Salam NABA, WH bin M Saad, ZB Manap, F Salehuddin (2016) The Evolution of Non-invasive Blood Glucose Monitoring System for Personal Application. J Telecommun Electron Comput Eng JTEC 8(1): 59-65.
17. Рогальський Ф.Б., Курилович Я.Є., Цокурєнка А.А. Математичні методи аналізу економічних систем. Книга 1. - К.: Наукова думка, 2001.
18. Руководство пользователя по базовой системе Statistics 20 [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа до ресурсу: ftp://public.dhe.ibm.com/software/analytics/spss/documentation/statistics/20.0/ru/client/Manuals/IBM_SPSS_Statistics_Core_System_Users_Guide.pdf.
19. Рогальський Ф.Б., Цокурєнка А.А. Математичні методи аналізу економічних систем. Книга 2. - К.: Наукова думка, 2001.

20. Інтелектуальний аналіз даних: методичні вказівки до виконання комп'ютерних практикумів з навчальної дисципліни «Інтелектуальний аналіз даних». Частина-1. «Кореляційний та регресійний аналіз медичних даних». / Уклад.: д.б.н., с.н.с. Є. А. Настенко, к.т.н. В. С. Якимчук, к.т.н. О. К. Носовець. – К.: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2017. – 51 с.

21. НАПБ Б.03.002-2007. Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою – Режим доступу до ресурсу: https://dnaop.com/html/32980/doc-%D0%9D%D0%90%D0%9F%D0%91_%D0%91.03.002-2007

22. ICSC 0865 – Глюкоза – Режим доступу до ресурсу: https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=ru&p_card_id=0865&p_version=2

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------|------|
| | | | | | БМ61.14.2505.1191 | Лист |
| | | | | | | 53 |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | |

ДОДАТОК А

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ

| № | Назва методу | Принцип методу | Переваги | Недоліки |
|---|---------------------------|--|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Поляриметрія | Глюкоза завдяки своїй хіральності є оптично активною речовиною. Ця властивість спричиняє поляризацію світла, що проходить крізь неї. При цьому відбувається поворот площини поляризації на певний кут, за допомогою якого можливо визначити концентрацію глюкози. | <ul style="list-style-type: none"> - простий алгоритм визначення та обчислення концентрації; - відсутність впливу інших сполук в складі крові; - початкова інтенсивність світла не впливає на поляризацію; - поглинання світла біологічними тканинами не впливає на його поляризацію | <ul style="list-style-type: none"> - невелика відстань зберігання поляризації при проходженні через біологічний об'єкт; - у формулі залежності кута обертання від концентрації при роботі з глюкозою питомих обертання втрачає свою сталість і таким чином утворюється рівняння з двома невідомими; |
| 2 | Розсіювання | Зміна кількості глюкози в зразку приводить до зміни оптичних характеристик тканин людини, в тому числі і шкірного покриву. Відомо, що збільшення концентрації глюкози приводить до зменшення коефіцієнта розсіювання світла тканинами. Дана величина визначається різницею показників заломлення позаклітинної рідини і клітинних мембран. | <ul style="list-style-type: none"> - простота принципу дії; - відсутність впливу інших сполук, так як вони не мають властивості подвійного променезаломлення. | <ul style="list-style-type: none"> - довільний напрямок проходження світлових променів, які важко зібрати та сконцентрувати в один пучок для подальшої обробки; - значний вплив коефіцієнта пропускання шкіри; - використання додаткових фокусуючих елементів; - неточність вимірювання, яка пов'язана з затримкою між рівнями концентрації глюкози в крові та міжклітинній рідині. |
| 3 | Раманівська спектроскопія | При проходженні потоку світла через розчин з глюкозою виникає явище непружного розсіювання світла. Випромінювання, містить фотони тієї ж частоти, що і падаюче випромінювання, а також певну кількість фотонів зі зміненою чи зміщеною частотою. Спектроскопічний процес вимірювання цих зміщених фотонів і є основою методу. | <ul style="list-style-type: none"> - простота пробопідготовки; - великий обсяг одержуваної інформації; - широкий спектральний діапазон, що дозволяє створювати бібліотеки спектрів і точно визначати рівень глюкози; - працює в діапазоні від УФ до ближньої ІЧ області | <ul style="list-style-type: none"> - нестабільність довжини хвилі; - інтенсивність випромінювача; - похибки, які виникають внаслідок інших хімічних елементів у зразку тканини. |

Продовження таблиці

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|--|---|---|
| 4 | Спектральний аналіз ближньої ІЧ області | Глюкоза спричиняє одне з найслабших поглинання сигналу в ближній ІЧ області спектру на одиницю концентрації головних компонентів тіла. Вимірювання глюкози за допомогою спектроскопії в ближній ІЧ області робить можливим дослідження зразка тканини на глибині 1 – 100 мм із загальним зменшенням глибини проникнення за рахунок збільшення значення довжини хвилі. Аналіз проводять на поглинання чи відбиття випромінювання. | <ul style="list-style-type: none"> - можливе дослідження зразка тканини на глибині 1 – 100 мм; - спектроскопія дифузного відбиття в ближній інфрачервоній області показала гарну кореляцію з дійсним рівнем глюкози в крові; - універсальний спосіб для вимірювання вмісту глюкози в різних середовищах організму. | <ul style="list-style-type: none"> - фізичні і хімічні параметри такі як зміна тиску, температури, тригліцериду і альбуміну впливають на вимірювання глюкози; - 10% прогнозів являються неприйнятними клінічно; - для визначення сталості кореляції рівня глюкози при всіх клінічно важливих умовах для всіх типів пацієнтів необхідними є численні перевірки та тестування передбачених значень рівнів глюкози. |
| 5 | Фотоакустична спектроскопія | Фотоакустична спектроскопія реалізовується за рахунок використання оптичного променя по відношенню до зразка, який швидко нагрівається, і утворення акустичної хвилі тиску, що може бути виміряна за допомогою мікрофону. Метод базується на використанні лазерного збудження рідини для того, щоб створити акустичну відповідь і спектр відповідно до того, як налаштований лазер | <ul style="list-style-type: none"> - визначення рівня глюкози в крові, окремих зразків тканини і людини зокрема може забезпечити більш високу чутливість, ніж звичайна спектроскопія при певних фізичних сприятливих параметрах; - відмінна кореляція між фотоакустичним сигналом і дійсним рівнем глюкози в організму. | <ul style="list-style-type: none"> - прилади, робота яких полягає у застосування принципів фотоакустичної спектроскопії, досить дорогі і чутливі до екологічних параметрів; - технологія також передбачає певні похибки за рахунок хімічних перешкод від біологічних молекул так само як і фізичних перешкод за рахунок температури і змін тиску. |